

IPv6のネットワーク構築とその運用

大谷 誠† 田中 久治‡ 渡辺 健次¶ 近藤 弘樹‡

†佐賀大学大学院工学系研究科

‡佐賀大学工学部

¶和歌山大学 システム工学部

住所 〒 840-8502 佐賀市本庄町一番地

TEL 0952-28-8506

FAX 0952-28-8650

E-Mail otani@ai.is.saga-u.ac.jp

近年のインターネットの急激な普及により、現在のインターネットプロトコルの問題点が表面化してきた。この問題点を解決し、新たな機能を付加するために次世代インターネットプロトコル IPv6 が提案された。現在、IPv6 は実用化に向けての研究が進められている。

我々は、IPv6 の研究を目的として実際に IPv6 ネットワークを構築し、そのネットワークにおいて仕様の実装、アプリケーション開発など研究を行っている。またこのネットワークを世界的規模の IPv6 実験ネットワーク 6bone と接続した。本稿では、構築した実験ネットワークの概要、および研究内容について述べる。

Operation of the IPv6 network

Makoto Otani† Hisaharu Tanaka‡ Kenzi Watanabe¶ Hiroki Kondo‡

†Science and Engineering Course of Graduate school, Saga University

‡Department of Information Science, Saga University

¶Department of Computer and Communication Sciences Faculty
of System Engineering, Wakayama University

address 1,Honjyo, Saga 840-8502, Japan

TEL +81-952-28-8506

FAX +81-952-28-8650

E-Mail otani@ai.is.saga-u.ac.jp

The problem of current Internet protocol(IPv4) has surfaced by popularization. In order to solve this problem, IPv6 which is the next generation Internet Protocol is proposed. It is expected that this protocol not only solves several problems of the IPv4 but also enables new functions. A lot of people contribute to develop and implement the protocol.

We have constructed the IPv6 experimental network for research the IPv6, developing applications and so on. This network also connected 6bone which is world-wide experimental IPv6 network. This paper describes details of our IPv6 network and our research activities.

1 はじめに

近年のインターネットの急激な成長に伴い、基盤となっているインターネットプロトコルに関する問題が表面化してきた。またプロトコルに対する新たな機能付加の要求も高まっている。

これらの問題や要求を解決するために次世代インターネットプロトコルであるIPv6(Internet Protocol version 6)が提案された。現在IPv6は、基本部分の仕様がほぼ確定し、実装や運用上の問題に関心が移り始めている。これにともない、いろいろなプラットフォームで動作する実装が公開され、世界的規模でのIPv6テストベッドネットワークによる評価実験も進んでいる。

本稿では、我々がIPv6の研究を目的として構築を行ったIPv6ネットワークの概要について述べる。また他の研究機関との接続を行うために参加したテストベッドネットワークへの接続、および現在行っている研究内容についても述べる。

2 IPv6とは

現在のインターネットプロトコルであるIPv4は、20年以上前に設計されたものだが、その設計理念が優れていたため、現在も基本的部分はほとんど変更なく使用されている。

しかしながら、近年のインターネットの普及により、インターネットの社会的な位置付けも変化し始めている。なかでもIPv4アドレスの枯渇、経路数の増加によるルータの負荷増大などは、インターネットの根幹に関わる問題である。またインターネットの利用法の多様化により、簡単なインターネットへのアクセスや、セキュリティ、リアルタイム通信機能などの要求が発生し始めている。

これらの問題や要求を解決するためにIETF(Internet Engineering Task Force)により次世代インターネットプロトコルであ

るIPv6が提案された。[8]

2.1 IPv6の特徴

IPv6の基本概念は、IPv4とほぼ同様である。しかし、これまでのIPv4の運用経験と研究成果から以下のような特徴が組み込まれている。[1] [5]

- ヘッダの簡略化

IPv4ヘッダフィールドのうち、20年以上の運用のなかで有効に活用できなかったフィールドが削除され簡略化が行われた。

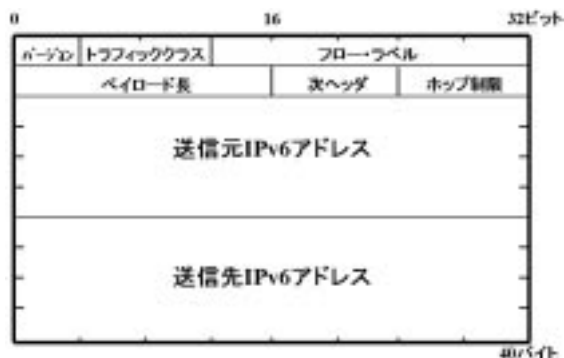


図 1: IPv6 ヘッダ・フォーマット

- アドレス空間の拡大

現在のIPv4アドレスは、21世紀初頭には枯渇してしまうという予測も出されており、この問題を解決するため、32bitだったアドレス空間を、IPv6では128bitに拡張した。これにより広大なアドレス空間を利用することが可能となる。

- 経路の集約を考慮したアドレス構造

IPv6のアドレス構造には、経路の集約を容易にする、階層構造を意識した割り当てを行う予定で、経路制御を効率的に行うことを目指している。現時点

では、Aggregatable Global Unicast address と呼ばれるアドレス体系が定義されている。[4]

- セキュリティ機能

IP レベルでのパケットの認証や暗号化の機構が組み込まれている。これにより、必要に応じてアプリケーションが通信セキュリティを確保でき、盗聴、改竄、なりすましなどを防止することができる。

- Plug & Play 機能

ホストをネットワーク接続する際、アドレス等の設定を自動で行う機能を標準で装備している。これによりホストをネットワークへ接続するだけで通信を行うことが可能となる。

- リアルタイム通信への対応

VoD(Video on Demand) やビデオ会議システムなど、リアルタイム性が要求されるトラフィックに対応するため、IPv6 ではフローラベルや優先度といった情報がつけられる。これにより、リアルタイム性が要求される通信をルータが優先して扱うことが可能となる

3 IPv6 実験ネットワークの構築

ここでは我々が実際に構築を行った IPv6 ネットワークの概要について述べる。

3.1 IPv6 実験ネットワーク

構築したネットワークは現在、ルータ 4 台、ホスト 2 台の計 6 台という構成となっている。図 2 に現在の IPv6 実験ネットワーク構成図を、表 1 にネットワークのアドレスを示す。



図 2: IPv6 実験ネットワーク

ノード	IPv4 アドレス	ノード	IPv4 アドレス
ルータ 1	133.49.31.54	ルータ 4	133.49.31.206
ルータ 2	133.49.31.57	ホスト 1	133.49.31.210
	133.49.31.193	ホスト 2	133.49.31.211
ルータ 3	133.49.31.205	IPv4 ルータ	133.49.31.254
	133.49.31.209		
ノード	Pv6 アドレス		
ルータ 1	3ffe:503:1050:1000:260:97ff:fea5:389e		
ルータ 2	3ffe:503:1050:1000:290:27ff:fe1e:f111 3ffe:503:1050:1100:290:27ff:fe1f:1759		
ルータ 3	3ffe:503:1050:1100:290:27ff:fe1f:148d 3ffe:503:1050:1110:290:27ff:fe1e:f164		
ルータ 4	3ffe:503:1050:1100:290:27ff:fe1f:f7b 3ffe:503:1050:1110:290:27ff:fe1f:fbf		
ホスト 1	3ffe:503:1050:1000:2a0:c9ff:feaf:d746		
ホスト 2	3ffe:503:1050:1110:290:27ff:fe1f:fbf		

表 1: IPv6 ネットワークのアドレス

この IPv6 ネットワークは、IPv4 ネットワーク上に共存しており、各ノードは IPv6 および IPv4 両方のアドレスを割り当てられている。これによって IPv4 のみしか扱えないホストに対しても IPv4 を扱うことにより通信が可能となっている。

IPv4 における IP アドレス等のネットワーク設定は、各ノードで静的に行っているが、IPv6 は Plug&Play 機能を標準で装備しており、各ホストの設定は、ルータから提供される情報をもとに動的に行われる。

3.2 IPv6の実装

IPv6 ネットワークを構築するにあたり、我々は KAME(KARigoME) Project の提供する実装をもとに、AT 互換機上で、FreeBSD を用いて実装を行った。この KAME Project では、日本の 7 つの企業が共同で各種 BSD 上での IPv6 の実装を行っており、実装やアプリケーションなどを無料で公開している。この実装は、もともと Hydrangea という名前で WIDE Project の v6 分科会によって開発されていたものである。[6]

3.3 IPv6-IPv4 間の相互通信

IPv4 から IPv6 への移行において、インターネットに接続されているノードが一斉に IPv6 に対応することはまず不可能であり、実際は、かなり長い期間をかけて移行が進むことになる。従って、IPv6 と IPv4 の環境が混在してしまうことになる。

このような環境下で、移行を円滑に進めるためには、IPv6 と IPv4 両者のホストが相互に通信が行えることが望まれる。これは我々が構築したネットワークのように、IPv6 ホストとは IPv6 で、IPv4 ホストとは IPv4 を使用するという“デュアルスタック”と呼ばれる実装を行うことで解決できる。我々のネットワークでは、通信先ホストの IP アドレス構造により、IPv6 および IPv4 を判断し、自動的にプロトコルを選択することにより通信が行なわれている。

しかし、これは IPv6 ホストが IPv4 ホストと通信を行うために、IPv6 および IPv4 アドレスの両方を取得する必要があることを意味している。これでは、IPv4 のアドレス枯渇の問題を根本的に解決することにはならず、移行期の後半に IPv4 アドレスが枯渇してしまう可能性も考えられる。

3.4 トランスレータ

そこで現在、KAME Project では、IPv6 で通信可能なホストから、IPv4 ネットワークに IPv6 を使って接続するためのトランスレータを公開している。これはカーネルと協調して動く TCP relay daemon である。トランスレータを起動しているノードに、接続先が IPv6 互換アドレスであるパケットが届いた場合、接続先の IPv4 アドレスに対して TCP コネクションを確立し、TCP/IPv6 から TCP/IPv4、またその逆への変換を行うことにより通信を可能とする。

このトランスレータは `faithd` と呼ばれ、現在、`telnet`、`rlogin`、`ftp` などといったアプリケーションをサポートしている。

我々が構築したネットワークにおいては図 2 で示されているルータ 1 上で `faithd` を起動しており、IPv6 互換アドレスに対するパケットは、ルータ 1 を経由するように設定されている。これにより、IPv6 互換アドレスによって指定されたホストに対して、IPv4 を用いた通信が可能となる。

4 6bone への接続

ここでは、世界的規模で行われている IPv6 テストベッドネットワークの概要、およびこのネットワークへのトンネリングを用いた接続の概要について述べる。

4.1 6bone とは

現在、IPv6 のテストベッドネットワークとして、6bone と呼ばれるネットワークが構築されている。ここではテストベッドネットワーク用のアドレスを使用し、IPv6 ネットワークの運用、およびそれら問題点の発見などを行っている。6bone は実験を目的としたネットワークで、IPv6 の研究を行っている組織の接続を受け付けており、1999 年 2 月

10日現在で39ヶ国・353組織以上が参加している。[7]

研究組織が現在、6boneに接続を行う場合、6boneから直接アドレスを取得する方法と、既に6boneに直接接続している組織からアドレスを取得する方法がある。前者は6boneからpTLAと呼ばれる割り当てを受けるということであり、後者はpTLAを取得した組織からアドレス割り当てを受けるということである。

我々は、pTLAを取得して6boneに接続しているWIDE ProjectのIPv6テストベッドネットワーク、6bone JPへの接続を行った。

4.2 IPv6 アドレス構造

4.2.1 6boneにおけるアドレス構造

IPv6のアドレス構造は、現在RFCとして公開されている。

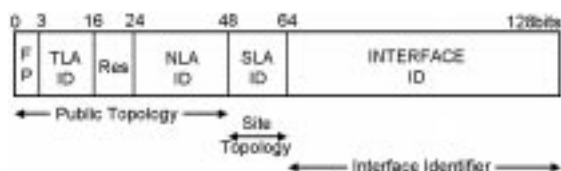


図 3: IPv6 アドレス構造

図3に示したように、128bitのIPv6アドレスは、上位64bitと下位64bitに分けられ、下位64bitはInterface Identifierとして使用する。Public TopologyとSite Topologyは、上位64bitで以下のようになっている。

- FP
Format Prefix (001)
- TLA ID
Top-Level Aggregation Identifier
- RES
Reserved for future use

- NLA ID
Next-Level Aggregation Identifier
- SLA ID
Site-Level Aggregation Identifier
- INTERFACE ID
Interface Identifier

現在、FPとTLAの部分をあわせて、“3FFE”としたテストベッドネットワーク用のアドレスが決められ、この“3FFE”のネットワークを6boneと呼んでいる。6boneでは、RESとしている8bitをTLAと想定し、pTLAと呼んでいる。pTLAは現在、55組織以上に割り当てられ、それぞれのネットワークでIPv6のテストベッドネットワークとして、またアドレス割り当て実験等を行っている。

4.2.2 6bone JPにおけるアドレス構造

WIDE Projectのテストベッドネットワーク6bone JPでは、6boneでNLAとしている24bitを8bitと16bitに分け、それぞれをNLA1、NLA2と呼ぶ。

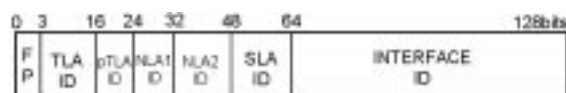


図 4: 6bone JP アドレス構造

6bone JPに接続するには、NLA1を取得して接続する方法と、NLA1を取得した組織からNLA2を取得する方法がある。我々は、NLA1を取得しているNTTソフトウェア研究所の協力のもとに、NLA2を取得した。

図5に示すようにNTTソフトウェア研究所は、NLA1として“3ffe:503::/32”、我々は、NLA2として“3ffe:503:1050::/48”のアドレスブロックを割り当てられている。

ここでSLAはサイト内で集約的な経路制御を行うために使用し、INTERFACE IDは、



図 5: IPv6 ネットワーク アドレス構造

ネットワークインターフェイスの MAC アドレスより動的に生成される。

4.3 トンネリング

実際に IPv6 のアドレスを割り当てられたとしても、接続先までのネットワークが IPv6 に対応していなければ、直接 IPv6 で接続することはできない。この問題に対応するために IPv6 では、トンネリングによる接続が提案されている。

トンネリングとは、あるネットワーク層のプロトコルを通すために異なるプロトコルを利用する技術である。トンネリングを用いれば、IPv6 パケットの前に IPv4 ヘッダを付加することにより、IPv4 ネットワークを利用して IPv6 パケットを送受信できる。その結果、ネットワーク的に孤立している IPv6 ホスト同士が IPv6 を用いて通信することが可能となる。

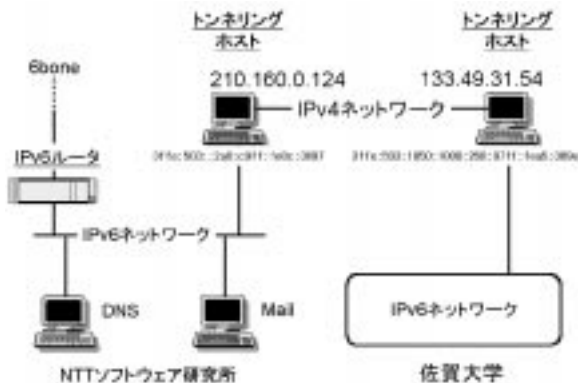


図 6: トンネリング接続

4.4 6bone への接続

我々がトンネリングを用いて構築したネットワークにおいて、6bone に接続する場合、IPv6 パケットは、図 6 に示す佐賀大学側のトンネリングホストを経由することになる。トンネリングホストは 6bone 宛のパケットを受け取ると IPv6 パケットの前に IPv4 ヘッダを付ける。そして次にこのパケットを IPv4 ネットワークを用いて NTT ソフトウェア研究所側のトンネリングホストに送信する。これを受け取ったトンネリングホストは IPv4 ヘッダを外し、IPv6 パケットとして 6bone に送信を行い、相手先に届けられる。同様にして 6bone からのパケットは佐賀大学の IPv6 ネットワークに送られる。

5 研究内容

上記のように構築を行った IPv6 ネットワークを用いて、我々はいくつかの研究を行っている。ここではこの研究内容について述べる。

5.1 ルーティングヘッダ

IPv6 のヘッダは、標準ヘッダと拡張ヘッダと呼ばれるものから構成され、IPv6 の標準ヘッダは IPv4 の運用経験をもとに、変更、簡素化が行われている。また IPv4 のオプションフィールドに変わるものとして拡張ヘッダが採用され、これにより柔軟な機能付加を実現することが可能となる。

我々が研究を行っているルーティングヘッダは、IPv4 におけるソースルーティング・オプション (Source Routing Option) と同等の機能を提供しているが、これは IPv4 の必須の仕様ではないため、実際にはほとんど使われることはなかった。しかし、IPv6 のルーティングヘッダは拡張ヘッダであり、IPv6 の必須の仕様となっている。

このヘッダを利用することにより、パケットの経路を指定することが可能となる。ルーティングヘッダは経路上のルータのアドレスを組み合わせることでパケットが通過する経路を指定する。図7にルーティングヘッダのフォーマットを示す。[5]

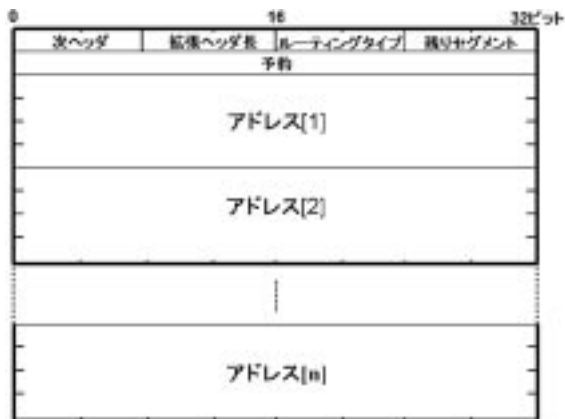


図 7: ルーティングヘッダのフォーマット

- 次ヘッダ

最初の次ヘッダフィールドには、ルーティングヘッダの直後にくる拡張ヘッダ、または、上位層プロトコルのヘッダの番号が格納される。

- 拡張ヘッダ長

このフィールドには、拡張ヘッダ長が格納される。8バイトを単位としたときの拡張ヘッダ長を表し、かつ拡張ヘッダの最初の8バイトを含まない。

- ルーティング・タイプ

5オクテット目以降のフォーマットを指定する識別子が定義される。現時点では、0以外の値は定義されていない。

- 残りセグメント

ソースルーティングを処理してきて、拡張ヘッダ内にあるアドレスリストに示されているノードのうち、まだ通過

していないノードがいくつあるかを表す。このフィールドは、ルータでソースルーティングの処理を行うたびに減らされる。残りセグメントの値が0になったら、ヘッダは何の意味も持たなくなる。

- 予約

予約フィールドであり、すべてに0を設定する。

ルーティングヘッダの5バイト目からは、ルーティングタイプごとに定義された書式に従って用意される。上で述べたように、現在定義されているルーティング・タイプは0だけなので実際には図7はタイプ0の書式を表している。

このヘッダを使用することにより、特定のルータの診断を行ったり、データが不適切なルータを通過しないようにすることが可能となる。また使用するアプリケーションに求められる性質(セキュリティ、通信帯域、コストなど)に応じた経路を選択する事も可能になると考えられる。

我々は、現在このルーティングヘッダを独自に実装することや、このヘッダを使用するアプリケーション、またそのインターフェースの開発を目的とした研究を行っている。

5.2 Path MTU Discovery

IPv4では、データを送信する際、経路上のルータでパケットのフラグメンテーションを行うことが可能だったが、Path MTUの値、ルータの性能によっては、フラグメンテーションによるオーバーヘッドが大きくなることが考えられる。

IPv6では、送信ノードにおいて経路上の最小MTUを探索(Path MTU Discovery)し、その値をもとにパケットのサイズを決定し、経路途中でのパケットのフラグメンテーションは行わない。そこでは我々は、最適な探索アルゴリズムの提案、Path MTU

などの違いによる IPv4 及び IPv6 における性能の比較を目的とした研究を行っている。
[10]

6 まとめ

近年のインターネットの急激な普及に伴い、プロトコルに対する新たな要求や問題点が表面化してきた。これらの問題を解決するために次世代インターネットプロトコルである IPv6 が提案された。我々はこの IPv6 の研究を目的として、実際に IPv6 ネットワークを構築し、テストベッドネットワーク 6bone に接続を行った。今後はこのネットワークを用いて IPv6 の研究を進めて行く予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたって御指導頂きました、NTT ソフトウェア研究所の皆様深く感謝致します。

参考文献

- [1] Robert M. Hinden and Stephen E. Deering, Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification, Request for Comments 1883, (Dec. 1995)
- [2] Robert M. Hinden and Stephen E. Deering, IP Version 6 Addressing Architecture, Request for Comments 1884, (Dec. 1995)
- [3] Robert M. Hinden and Stephen E. Deering, IP Version 6 Addressing Architecture, Request for Comments 2373, (Jul. 1998)
- [4] Robert M. Hinden and Mike O'Dell and Stephen E. Deering, An IPv6 Aggregatable Global Unicast Address Format, Request for Comments 2374, (Jul. 1998)

- [5] Robert M. Hinden and Stephen E. Deering, Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification, Request for Comments 2460, (Dec. 1998)
- [6] KAME Project, <http://www.kame.net/>
- [7] WIDE Project and 6bone JP, <http://www.v6.sfc.wide.ad.jp/6bone/6bone-jp/>
- [8] Christian Huitema, 村井 純 監修, WIDE プロジェクト IPv6 分科会 監訳、松島 英樹 訳, “IPv6 次世代インターネットプロトコル, プレンティスホール出版”, (Jan. 1997)
- [9] 大谷 誠, “次世代インターネットプロトコル IPv6 の実装と相互通信性の検証”, 平成 9 年度 佐賀大学工学部情報科学科卒業論文, (Feb, 1998)
- [10] 原 理, “IPv6 における Path MTU Discovery の有効性の検証”, 平成 10 年度 佐賀大学工学部情報科学科卒業論文, (Jan, 1999)